



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 09 180 A 1

21 Aktenzeichen: 100 09 180.6
22 Anmeldetag: 26. 2. 2000
43 Offenlegungstag: 6. 9. 2001

51 Int. Cl. 7:
F 02 B 3/08
F 02 M 25/07
F 02 B 37/00
F 02 B 29/04

DE 100 09 180 A 1

71 Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Raab, Alois, Dipl.-Ing., 73560 Böbingen, DE;
Schnabel, Martin, Dipl.-Ing., 73430 Aalen, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 692 18 342 T2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

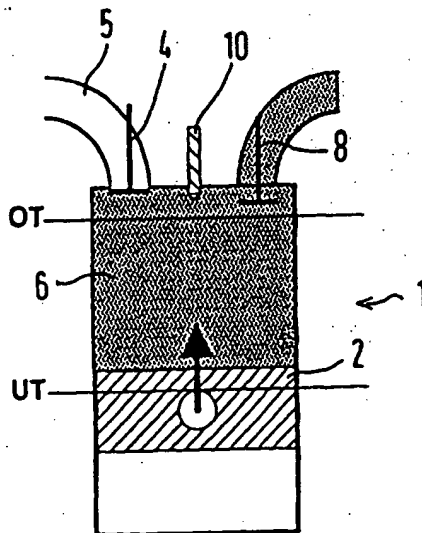
54 Verfahren zur Erzeugung eines homogenen Gemischs für selbstzündende Brennkraftmaschinen und zur Steuerung des Verbrennungsprozesses

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines homogenen Gemischs für selbstzündende Brennkraftmaschinen und zur Steuerung des Verbrennungsprozesses, wobei die Brennkraftmaschine eine Einspritzanlage (10) und wenigstens eine mit einer Ansaugeinrichtung in Verbindung stehende Zylinder-Kolbeneinheit (1) aufweist, umfassend folgende Schritte:

a) Abgasrückführung von heißem Abgas eines vorangehenden Verbrennungszyklus in den Brennraum (6) oder in die Ansaugeinrichtung oder Abgasrückhaltung dieses Abgases im Brennraum (6) oder in der Ansaugeinrichtung;

b) Einspritzen von Kraftstoff mittels der Einspritzanlage (10) in das rückgehaltene oder rückgeführte heiße Abgas zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs;

c) Abkühlen des homogenisierten Kraftstoff-Luft-Gemischs durch eine Expansionskühlung oder durch eine isentrope Verdichtung in der betreffenden Zylinder-Kolbeneinheit (1) und/oder durch Expansionskühlung oder durch externe Abkühlung eines in mindestens einer weiteren Zylinder-Kolbeneinheit homogenisierten Kraftstoff-Luft-Gemischs und Rückführung des abgekühlten Kraftstoff-Luft-Gemischs in die Ansaugeinrichtung.



DE 100 09 180 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Erzeugung eines homogenen Gemischs für selbstzündende Brennkraftmaschine und zur Steuerung des Verbrennungsprozesses gemäß Anspruch 1.

Bei der Verbrennung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs wird durch eine dezentrale Aktivierung eine parallele Energiefreisetzung erzielt im Gegensatz zu bisher üblichen Prozessen, bei welchen durch eine zentrale Aktivierung mittels einer Zündquelle (Otto-Prozess) oder mittels Einspritzung (Diesel-Prozess) eine serielle Verbrennung der Ladung mit sich allmählich ausbreitender Flammenfront stattfindet. Besondere Vorteile bei der homogenen Verbrennung durch dezentrale Aktivierung der Ladung ergeben sich aus dem global geringeren Temperaturniveau, d. h. lokale Spitzentemperaturen werden vermieden. Daraus resultieren geringere NO_x -Emissionen. Durch die homogene Verteilung des Kraftstoffs sinken die Rußemissionen und durch vollständige Oxidation von C zu CO_2 können Vorteile im Kraftstoffverbrauch erzielt werden.

Bei der Bildung eines Gemischs aus Kraftstoff und Luft ist daher ein homogenes Gemisch im Hinblick auf einen abgas- und verbrauchsoptimierten Verbrennungsprozeß erstrebenswert. Bei Diesel-Brennkraftmaschinen erfolgt die Verbrennung idealerweise durch Selbstzündung eines mehr oder weniger homogenen Gemischs aus Dieselmotorkraftstoff und Luft. Es gibt Ansätze, diese homogene Gemischbildung sowohl im Saugrohr wie auch im Brennraum zu verwirklichen. Als Problem hat sich allerdings die hohe Siedetemperatur und der weite Siedebereich von Dieselmotorkraftstoff herausgestellt, so daß beispielsweise bei Kompressionshub-einspritzung bzw. Saugrohreinspritzung mit ansonsten unveränderten Steuerzeiten der Einlaß- und Auslaßventile die Zeit zur Verdampfung aller Komponenten des Dieselmotorkraftstoffs zu kurz und die Temperaturen zu niedrig sind. Außerdem geschieht die Zündung aufgrund der hohen Cetanzahl von Dieselmotorkraftstoff zu früh und deshalb nicht wirkungsgradoptimal. Ein weiteres Problem besteht in einer schnellen Umsetzung des homogenen Gemischs und dem damit einhergehenden hohen Druckanstieg.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erzeugung eines homogenen Gemischs für selbstzündende Brennkraftmaschinen und zur Steuerung des Verbrennungsprozesses zur Verfügung zu stellen, bei welchem ein unkontrolliertes, zu frühes Zünden des Gemischs verhindert wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst.

Vorteile der Erfindung

Durch die erfindungsgemäße Kombination von Abgasrückführung bzw. Abgasrückhaltung mit einer Einspritzung von Kraftstoff in das rückgeführte bzw. rückgehaltene Abgas und einer anschließenden Kühlung des Kraftstoff-Luft-Gemischs sind zwei Parameter zur Steuerung des Verbrennungsprozesses gegeben, um eine optimale Lage der Verbrennungsschwerpunktes und geringere Druckanstiege zu erzielen.

Zum einen wird Kraftstoff in das rückgehaltene oder rückgeführte, heiße Abgas des vorangehenden Verbrennungszyklus eingespritzt, um ein homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch zu erhalten. Hierbei bildet die Menge und Temperatur bzw. die Energie des rückgehaltenen bzw. rück-

geführten Abgases eine wesentliche Stellgröße, durch welche der Verbrennungsprozeß, insbesondere der Beginn und die Dauer der Umsetzung/Verbrennung oder der Schwerpunktlage der Ladung, steuer- und regelbar ist.

Zum andern wird das rückgehaltene bzw. rückgeführte Abgas gekühlt, um eine zu frühe Zündung zu verhindern. Die Kühlung senkt die Verdichtungsendtemperatur und verhindert durch Einfrieren der Vorreaktionen unkontrolliertes, zu frühes Zünden der homogenen Ladung. Das gekühlte, rückgeführte oder rückgehaltene Abgas wirkt als Inhibitor und sorgt damit für eine sanfte Verbrennung. Darüber hinaus wird der Verbrennungsschwerpunkt wirkungsgradoptimal nach hinten verschoben. Die Lastregelung kann dann durch Variation der eingespritzten Kraftstoffmenge erfolgen.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung möglich.

Gemäß einer besonders zu bevorzugenden Maßnahme erfolgt das Abkühlen des homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs durch eine Expansionskühlung mittels spätem Einlaßventil-Öffnen oder frühem Einlaßventil-Schließen (Miller-Verfahren). Wird beispielsweise das Einlaßventil relativ früh geschlossen, so füllt sich der Zylinder nur unvollkommen mit Frischladung, die Ladung im Zylinder expandiert während des Ansaughubs und kühlt sich noch vor dem VerdichtungsHub ab.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß wenigstens ein Teil des Abgases eines Spenderzylinders der Brennkraftmaschine rückgehalten oder rückgeführt wird, um in dieses Abgas Kraftstoff zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs sowohl für den Spenderzylinder als auch für die restlichen Zylinder der Brennkraftmaschine einzuspritzen, wobei das homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch vor einer Einspeisung in eine gemeinsame Ansaugeneinrichtung des Spenderzylinders und der restlichen Zylinder vorzugsweise durch eine Kühleinrichtung gekühlt wird, welche nach dem Verdichterkälteprozeß, dem Adsorptionskälteprozeß, dem Gaskälteprozeß, dem Dampfstrahlkälteprozeß, einem elektrothermischen Verfahren oder einer Kombination der genannten Prozesse arbeitet.

In Weiterbildung hierzu kann die selbstzündende Brennkraftmaschine mit einer Abgasturboladeneinrichtung versehen sein und die Ansaugeneinrichtung einen Verdichter sowie eine diesem nachgeordneten Ladeluftkühler und eine nachgeordnete Expansionsturbine aufweisen, wobei das homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch in die Ansaugeneinrichtung wahlweise an einer oder mehreren Anschlußstellen eingespeist wird, von welchen eine Anschlußstelle stromaufwärts des Verdichters, eine Anschlußstelle zwischen dem Verdichter und dem Ladeluftkühler, eine Anschlußstelle zwischen dem Ladeluftkühler und der Expansionsturbine sowie eine weitere Anschlußstelle zwischen der Expansionsturbine und einem Ansaugkrümmer der Brennkraftmaschine angeordnet ist.

Durch Rückführung des homogenisierten und vorgekühlten Kraftstoff-Luft-Gemischs in die Ansaugeneinrichtung kommt es zu einer Durchmischung mit angesaugtem Frischgas. Die anschließende weitere Abkühlung des mit homogenem Kraftstoff-Luft-Gemisch durchsetzten Frischgases durch den Ladeluftkühler und/oder die Expansionsturbine (Turbokühlung) sorgt für eine deutlich höhere angesaugte Gesamtmasse, wodurch die durch die höhere Temperatur des in die Ansaugeneinrichtung rückgeführten Kraftstoff-Luft-Gemischs hervorgerufene thermische Drosselung und damit Leistungseinbußen verringert werden. Durch die mit der Turbokühlung mögliche, geringere Kompressionsendtemperatur erfolgt die Selbstzündung des homogenen Gemischs nicht zu früh sondern kann über die Regelung der Parameter

der Turbokühlung so abgestimmt werden, daß sie wirkungsgradoptimal im Bereich der oberen Zünd-Totpunktlage stattfindet.

Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a bis 1g eine schematische Darstellung einer Zylinder-Kolbeneinheit einer selbstzündenden Brennkraftmaschine in verschiedenen Kurbelwinkellagen zur Veranschaulichung einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung;

Fig. 2 ein Diagramm, in welchem der Kolbenweg und Bereiche für die Ventilsteuerzeiten der Brennkraftmaschine von Fig. 1 über dem Kurbelwinkel dargestellt sind;

Fig. 3a bis 3f die Zylinder-Kolbeneinheit von Fig. 1 in verschiedenen Kurbelwinkellagen zur Veranschaulichung einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung;

Fig. 4 ein Diagramm, in welchem der Kolbenweg und Bereiche für die Ventilsteuerzeiten der Brennkraftmaschine von Fig. 3 über dem Kurbelwinkel dargestellt sind;

Fig. 5a bis 5f die Zylinder-Kolbeneinheit von Fig. 1 in verschiedenen Kurbelwinkellagen zur Veranschaulichung einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung;

Fig. 6 ein Diagramm, in welchem der Kolbenweg und Bereiche für die Ventilsteuerzeiten der Brennkraftmaschine von Fig. 5 über dem Kurbelwinkel dargestellt sind;

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer selbstzündenden Brennkraftmaschine mit Turboaufladung, bei welcher eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens verwirklicht ist;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer weiteren selbstzündenden Brennkraftmaschine mit Turboaufladung, welche zusätzlich mit einer Expansionsturbine versehen ist.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In den Fig. 1a bis 1g ist zur Veranschaulichung einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung eine Zylinder-Kolbeneinheit 1 einer selbstzündenden Brennkraftmaschine dargestellt, mit einem sich zwischen einer unteren Totpunktlage UT und einer oberen Totpunktlage OT periodisch bewegenden Kolben 2. Die Zylinder-Kolbeneinheit 1 umfaßt ein Einlaßventil 4, durch welches entlang einer im übrigen nicht dargestellten Ansaug-einrichtung geführtes Frischgas durch einen Ansaugkanal 5 in einen Brennraum 6 strömen kann, sowie ein Auslaßventil 8 zum Auslaß von Abgas. Zudem ist am Kopf der Zylinder-Kolbeneinheit 1 eine beispielsweise mittige Einspritzdüse 10 angeordnet. Beim motorischen Verbrennungsprozeß der selbstzündenden Brennkraftmaschine handelt es sich vorzugsweise um einen hinlänglich bekannten Viertakt-Prozeß mit einem Ansaugtakt, einem Verdichtungstakt, einem Arbeitstakt und einem Ausstoßtakt.

Um ein möglichst homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch zu erhalten, wird der Kraftstoff in heißes Abgas eingespritzt. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird hierzu zunächst eine Abgasrückhaltung im Brennraum 6 realisiert, indem das Auslaßventil 8 während des in Fig. 1a dargestellten Ausstoßtakts frühzeitig geschlossen wird. Im Anschluß erfolgt eine in Fig. 1b und Fig. 1c gezeigte Einspritzphase während der Kraftstoff durch die Einspritzdüse 10 in das im Brennraum 6 rückgehaltene heiße Abgas eingespritzt wird, woraufhin der einge-

spritzte Kraftstoff verdampft und Vorreaktionen stattfinden (Fig. 1d). Um ein Auftreffen des Kraftstoffstrahls auf der Brennraumwand zu verhindern, kann das Einspritzen auch getaktet erfolgen.

Um die Vorreaktionen zum Stillstand zu bringen, wird im Anschluß eine Expansionskühlung beispielsweise gemäß dem sog. Miller-Verfahren realisiert, indem während der Ansaugbewegung des Kolbens 2 das Einlaßventil 4 erst spät geöffnet wird (Fig. 1d und Fig. 1e). Das einströmende Frischgas sorgt für zusätzliche Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemischs. Alternativ könnte zur Erzeugung einer Expansionskühlung das Einlaßventil 4 auch früher schließen. Hierdurch wird die Kompressionsendtemperatur im nachfolgenden, in Fig. 1f gezeigten Verdichtungstakt gesenkt, welcher das Entzünden des Kraftstoff-Luft-Gemischs auslöst. Anstatt einer seriellen Verbrennung der Ladung mit sich allmählich ausbreitender Flammenfront findet wegen deren homogener Beschaffenheit eine gleichzeitige, dezentrale Aktivierung an vielen Stellen statt, durch welche eine parallele Energiefreisetzung möglich wird. Durch die gleichzeitig an vielen Stellen erfolgende Zündung der Ladung werden außerdem lokale Spitzentemperaturen vermieden.

In Fig. 2 sind im einzelnen in Diagrammform der Kolbenweg und Bereiche für die Ventilsteuerzeiten der Zylinder-Kolbeneinheit 1 von Fig. 1 in Abhängigkeit des Kurbelwinkels gezeigt. Beginnend bei einem Kurbelwinkel von Null Grad befindet sich der Kolben 2 in einer oberen Zünd-Totpunktlage Z_{OT} , welche den Arbeitstakt der Brennkraftmaschine einleitet. Vor Erreichen der sich anschließenden unteren Totpunktlage UT des Kolbens öffnet das Auslaßventil 8 – in Fig. 2 als AO bezeichnet – zur Einleitung des Ausstoßtaktes beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad (Fig. 1a).

Zur Abgasrückhaltung im Brennraum wird das Auslaßventil 8 frühzeitig geschlossen – in Fig. 2 als AS bezeichnet –, was vorzugsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 Grad und 369 Grad erfolgt. Hieran anschließend wird Kraftstoff in das rückgehaltene heiße Abgas des vorangehenden Verbrennungszyklusses eingespritzt, vorzugsweise in einem Kurbelwinkelbereich, welcher durch das Auslaßventil-Schließen AS und das Einlaßventil-Öffnen EO begrenzt ist, um ein homogenisiertes Kraftstoff-Abgas-Gemisch zu erhalten. Anstatt nun wie üblich kurz vor Erreichen einer oberen Ladungswechsel-Totpunktlage LW_{OT} bei 360 Grad Kurbelwinkel das Einlaßventil 4 zu öffnen (EO in Fig. 2), erfolgt dies später, beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 370 Grad und 450 Grad, um zunächst eine Expansionskühlung des Kraftstoff-Abgas-Gemischs zu realisieren (Fig. 1e). Die durch das späte Einlaßventil-Öffnen EO erhaltene, relativ geringe Frischgasmenge kann durch eine Aufladung der Brennkraftmaschine kompensiert werden. Schließlich wird das Einlaßventil 4 in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 550 Grad bis 570 Grad geschlossen (Es in Fig. 2). Bei der anschließenden Verdichtung des Frischgas-Brennstoff-Abgas-Gemischs wird schließlich dessen Selbstzündung im Bereich der oberen Zünd-Totpunktlage Z_{OT} ausgelöst.

Die genannten Steuerzeiten der Einlaß- und Auslaßventile 4, 8 können über entsprechende Nocken der Nockenwelle realisiert werden. Alternativ können auch variabel ansteuerbare Ventile, z. B. elektromagnetische Ventile verwendet werden.

In den Fig. 3a bis 3f ist der Verbrennungsprozeß anhand der Zylinder-Kolbeneinheit 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, Fig. 4 zeigt das entsprechende Kolbenweg-Kurbelwinkel-Diagramm. Die Bezeichnung der Bauteile und Steuerzeiten

erfolgt hierbei mit denselben Abkürzungen und Bezugswerten wie bei der vorangehend beschriebenen Ausführungsform.

Wie bisher wird das Auslaßventil 8 vorzugsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad geöffnet (AÖ), um die im Brennraum 6 befindlichen Abgase teilweise auszuschieben (Fig. 3a). Durch frühzeitiges Einlaßventil-Öffnen EÖ und gleichzeitiges Auslaßventil-Schließen AS, vorzugsweise während des Ausstoßtaktes in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 Grad und 360 Grad, wird das restliche heiße Abgas zur Abgasrückhaltung in den die Einspritzdüse 10 enthaltenden Ansaugkanal 5 geschoben (Fig. 3b) und Kraftstoff in das heiße Abgas eingespritzt – beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen dem Einlaßventil-Öffnen EÖ und 5 Grad Kurbelwinkel vor dem Einlaßventil-Schließen ES –, welches daraufhin verdampft. Die anschließende Abwärtsbewegung des Kolbens 2 während des Ansaugtaktes sorgt für Ansaugen des im Ansaugkanal 5 gebildeten Kraftstoff-Abgas-Gemischs sowie von mit diesem homogenisiertem Frischgas in den Brennraum 6 (Fig. 3c). Durch das Einlaßventil-Schließen ES beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 460 und 560 Grad und die weitere Abwärtsbewegung des Kolbens 2 wird das im Brennraum befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch expansionsgekühlt (Fig. 3d). Abschließend kommt es im Rahmen des anschließenden Verdichtungstaktes (Fig. 3e) zur Selbstzündung im Bereich der oberen Zünd-Totpunktage Z_{OT} (Fig. 3f). Anstatt die für den Verbrennungszyklus vorgesehene gesamte Einspritzmenge vollständig in den Ansaugkanal 5 einzuspritzen, ist auch denkbar, nur einen Teil hiervon ansaugkanalseitig und den Rest über eine weitere Einspritzdüse in den Brennraum 6 einzuspritzen.

In Fig. 5a bis Fig. 5f ist der Verbrennungsprozeß anhand der Zylinder-Kolbeneinheit 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, Fig. 6 zeigt das entsprechende Kolbenweg-Kurbelwinkel-Diagramm.

Wie bei der vorangehend beschriebenen Ausführungsform wird das Auslaßventil 8 in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad geöffnet, um die im Brennraum 6 befindlichen Abgase teilweise auszuschieben (Fig. 5a). Im Unterschied dazu wird jedoch der Kraftstoff kurz nach Auslaßventil-Schließen AS eingespritzt, welches beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 und 360 Grad erfolgt. Im gleichen Kurbelwinkelbereich öffnet das Einlaßventil 4, so daß hierdurch das innerhalb des Brennraumes 6 gebildete Kraftstoff-Abgas-Gemisch in den Einlaßkanal 5 geschoben wird. Die Strömung dieses Gemischs durch das Einlaßventil 4 sorgt für gute Verwirbelung und Verteilung des Kraftstoffs (Fig. 5b). Im Anschluß wird das Kraftstoff-Abgas-Gemisch zusammen mit Frischgas während des Ansaugtaktes durch das geöffnete Einlaßventil 4 in den Brennraum 6 zurückgesaugt (Fig. 5c). Der Einspritzvorgang findet statt spätestens beim Einlaßventil-Schließen ES beendet, welches beispielsweise in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 460 Grad und 560 Grad stattfindet. Durch Schließen des Einlaßventils 4 bei gleichzeitiger Saugbewegung des Kolbens 2 ergibt sich eine Expansionskühlung des Kraftstoff-Abgas-Frischgas-Gemischs. Schließlich löst der sich anschließende Verdichtungstaktes (Fig. 5e) eine Selbstzündung (Fig. 5f) im Bereich der oberen Zünd-Totpunktage Z_{OT} aus.

In Fig. 7 ist der Aufbau einer selbstzündenden Brennkraftmaschine 12 mit sechs Zylindern 14 schematisch dargestellt, welche mit einer Abgasturboladeinrichtung 16 versehen ist, so daß eine Ansaugleinrichtung 18 der Brennkraftmaschine 12 in einer Ansaugleitung 20 einen ein- oder

mehrstufig ausgebildeten Verdichter 22 und beispielsweise auch einen hierzu stromabwärtigen Ladeluftkühler 24 umfaßt, der ausgangsseitig mit einem gemeinsamen Ansaugkrümmer 26 aller sechs Zylinder 14 in Verbindung steht, welcher zur Verteilung des in der Ansaugleitung 20 anstehenden Gases auf die einzelnen Zylinder 14 dient.

Während für fünf der sechs Zylinder 14 ein gemeinsamer Abgaskrümmer 28 vorgesehen ist, um die Abgase dieser Zylinder zu einer den Verdichter 22 treibenden Abgasturbine 30 der Abgasturboladeinrichtung 16 zu leiten und sie in bekannter Weise in Rotation zu versetzen, ist für den sechsten Zylinder, einem sog. Spenderzylinder 32, eine mit dessen Auslaßkanal in Verbindung stehende und vom Abgaskrümmer 28 der restlichen Zylinder 14 getrennte Rückführleitung 34 vorgesehen, welche in die Ansaugleitung 20 zurückgeführt ist. Wie durch die gestrichelten Linien in Fig. 7 angedeutet, kann die Rückführleitung 34 wahlweise an einer Anschlußstelle 36 stromaufwärts des Verdichters, an einer Anschlußstelle 38 zwischen dem Verdichter 22 und dem Ladeluftkühler 24 oder an einer Anschlußstelle 40 zwischen dem Ladeluftkühler 24 und dem Ansaugkrümmer 26 der Brennkraftmaschine 12 in die Ansaugleitung 20 münden.

Die Funktion der beschriebenen Anordnung ist wie folgt: Das Abgas des Spenderzylinders 32 dient zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs für sämtliche Zylinder 14, indem in einem Brennraum 42 des Spenderzylinders 32 rückgehaltenes oder dorthin rückgeführtes, heißes Abgas Kraftstoff eingespritzt wird. Über die Rückführleitung 34 wird dann das durch den Spenderzylinder 32 erzeugte homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch in die gemeinsame, sämtliche Zylinder 14 versorgende Ansaugleinrichtung 18 eingespeist.

Um in den Zylindern 14 Vorreaktionen in Grenzen zu halten bzw. erst gar nicht entstehen zu lassen, wird das vom Spenderzylinder 32 stammende Kraftstoff-Luft-Gemisch vor der Einspeisung in die Ansaugleinrichtung 18 vorzugsweise durch eine in der Rückführleitung 34 angeordnete Kühleinrichtung 44 abgekühlt, welche nach dem Verdichterkälteprozeß, dem Adsorptionskälteprozeß, dem Gaskälteprozeß, dem Dampfstrahlkälteprozeß, einem elektrothermischen Verfahren oder einer Kombination der genannten Prozesse arbeiten kann. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann das Kraftstoff-Luft-Gemisch auch nach Einspeisung in die einzelnen Zylinder 14 mittels einer Expansionskühlung (Miller-Verfahren) gemäß der vorangehend beschriebenen Ausführungsformen abgekühlt werden. Wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch an einer der dem Ladeluftkühler 24 vorgeordneten Anschlußstellen 36, 38 in die Ansaugleitung 20 eingespeist, wird in vorteilhafter Weise ein bereits vorhandenes Kühlorgan genutzt, welches für zusätzliche Kühlung sorgt. Neben der bereits beschriebenen Behinderung von unerwünschten Frühzündungen kann durch die Kühlung der das heiße Kraftstoff-Luft-Gemisch enthaltenden Ladung vor Einspeisung in die Zylinder 14 deren Masse gesteigert und somit die thermische Drosselung verringert werden.

In Fig. 8 ist eine Weiterbildung der turbogeladenen Brennkraftmaschine gemäß Fig. 7 dargestellt, wobei identische oder analoge Bauteile und Baugruppen mit den gleichen Bezugswerten bezeichnet sind wie in Fig. 7. Die Ansaugleinrichtung 18 dieser Brennkraftmaschine 12 beinhaltet eine dem Ladeluftkühler 24 und dem Ansaugkrümmer 26 zwischengeordnete Expansionsturbine 46, welche ein- oder mehrstufig ausgebildet sein kann. Zusätzlich zu den Anschlußstellen 36, 38, 40 gemäß der vorangehend beschriebenen Ausführungsform ist stromaufwärts der Expansionsturbine 46 eine dem Ladeluftkühler 24 nachgeordnete Anschlußstelle 48 für die vom Spenderzylinder 32 ausgehende Rückführleitung 34 vorgesehen.

Damit wird zum einen das in die Ansaugleitung 20 gesaugte Frischgas oder die Verbrennungsluft im Verdichter 22 zunächst über das übliche Verbrennungsluftdruckniveau hinaus verdichtet, anschließend wird die hoch verdichtete Verbrennungsluft über den Ladeluftkühler 24 geführt und dort zwischengekühlt. Eine weitere Abkühlung der angesaugten Verbrennungsluft wird durch die Expansionsturbine 46 verwirklicht.

Darüber hinaus wird durch die Expansionsturbine 46 auch das durch den Spenderzylinder 32 homogenisierte Rückführleitung 34 an einer der drei der Expansionsturbine 46 vorgeordneten Anschlußstellen 36, 38, 48 in die Ansaugleitung eingespeist wird. Durch eine entsprechende Ansteuerung der für die Kühlung der angesaugten Ladung verwendeten Stellglieder wie Expansionsturbine 46, Ladeluftkühler 24 oder der in der Rückführleitung 34 angeordneten Kühleinrichtung 44 durch eine Steuer- und Regeleinrichtung kann der Zündzeitpunkt der Ladung wirkungsgradoptimal in den Bereich der oberen Zünd-Totpunktlage Z_{OT} eingeregelt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung einer zu frühen Selbstzündung des homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs bietet eine isentrope Verdichtung, wie sie z. B. bei Sterlingmotoren verwendet wird. Hierbei während des Verdichtungshubes des Kolbens die Zylinderladung durch gezielten Wärmeentzug gekühlt. Die isentrope Verdichtung wirkt sich außerdem wirkungsgradsteigernd auf den Verbrennungsprozeß aus.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines homogenen Gemischs für selbstzündende Brennkraftmaschinen (12) und zur Steuerung des Verbrennungsprozesses, wobei die Brennkraftmaschine (12) eine Einspritzanlage (10) und wenigstens eine mit einer Ansaugleinrichtung (5; 18) in Verbindung stehende Zylinder-Kolbeneinheit (1; 32) mit einem Brennraum (6; 42) aufweist, umfassend folgende Schritte:

- a) Abgasrückführung von heißem Abgas eines vorangehenden Verbrennungszyklusses in den Brennraum (6; 42) oder in die Ansaugleinrichtung (18) oder Abgasrückhaltung dieses Abgases im Brennraum (6; 42) oder in der Ansaugleinrichtung (5; 18);
- b) Einspritzen von Kraftstoff mittels der Einspritzanlage (10) in das rückgehaltene oder rückgeführte heiße Abgas zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs;
- c) Abkühlen des homogenisierten Kraftstoff-Luft-Gemischs durch eine Expansionskühlung oder durch eine isentrope Verdichtung in der betreffenden Zylinder-Kolbeneinheit (1) und/oder durch Expansionskühlung oder durch externe Abkühlung eines in mindestens einer weiteren Zylinder-Kolbeneinheit (32) homogenisierten Kraftstoff-Luft-Gemischs und Rückführung des abgekühlten Kraftstoff-Luft-Gemischs in die Ansaugleinrichtung (18).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbrennungsprozeß ein Viertakt-Prozeß ist, mit einem Ansaugtakt, einem Verdichtungstakt, einem Arbeitstakt und einem Ausstoßtakt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die interne Expansionskühlung vorzugsweise mittels spätem Einlaßventil-Öffnen (EÖ) oder frühem Einlaßventil-Schließen (EV) erfolgt (Miller-Verfahren).

ren).

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerung des Einlaßventils (4), des Auslaßventils (8) und der Einspritzanlage (10) derart erfolgt, daß durch frühzeitiges Auslaßventil-Schließen (AS) während es Ausstoßtaktes heißes Abgas im Brennraum (6) zurückgehalten, in das heiße Abgas Kraftstoff zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs eingespritzt und dieses Gemisch während des Ansaugtaktes durch spätes Einlaßventil-Öffnen (EÖ) expansionsgekühlt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß wenn eine obere Ladungswechsel-Totpunktlage (LW_{OT}) eines Kolbens (2) der Zylinder-Kolbeneinheit (1) durch einen Kurbelwinkel von 360 Grad definiert ist, der Verbrennungsprozeß durch folgende Steuerzeiten gekennzeichnet ist:

- a) Auslaßventil-Öffnen (AÖ) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad;
- b) Auslaßventil-Schließen (AS) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 Grad und 369 Grad;
- c) Einlaßventil-Öffnen (EÖ) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 370 und 450 Grad;
- d) Einlaßventil-Schließen (ES) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 550 und 570 Grad;
- e) Einspritzen von Kraftstoff zwischen dem Auslaßventil-Schließen (AS) und dem Einlaßventil-Öffnen (EÖ).

6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerung des Einlaßventils (4), des Auslaßventils (8) und der Einspritzanlage (10) derart erfolgt, daß während des Ausstoßtaktes heißes Abgas vom Brennraum (6) durch das geöffnete Einlaßventil (4) in einen Ansaugkanal (5) der Ansaugleinrichtung geschoben, im Ansaugkanal (5) Kraftstoff in das heiße Abgas und angesaugtes Frischgas eingespritzt, während des Ansaugtaktes das Kraftstoff-Luft-Gemisch vom Ansaugkanal (5) in den Brennraum (6) zurückgesaugt und nach frühzeitigem Schließen des Einlaßventils (4) expansionsgekühlt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß wenn eine obere Ladungswechsel-Totpunktlage (LW_{OT}) eines Kolbens (2) der Zylinder-Kolbeneinheit (1) durch einen Kurbelwinkel von 360 Grad definiert ist, der Verbrennungsprozeß durch folgende Steuerzeiten gekennzeichnet ist:

- a) Auslaßventil-Öffnen (AÖ) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad;
- b) Auslaßventil-Schließen (AS) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 Grad und 360 Grad;
- c) Einlaßventil-Öffnen (EÖ) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 und 360 Grad;
- d) Einlaßventil-Schließen (ES) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 460 und 560 Grad;
- e) Einspritzen von Kraftstoff zwischen dem Einlaßventil-Öffnen (EÖ) und 5 Grad Kurbelwinkel vor dem Einlaßventil-Schließen (ES).

8. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Einspritzen von Kraftstoff während des Ausstoßtaktes kurz nach Schließen des Auslaßventils (8) in den Brennraum (6) und im wesentlichen gleichzeitiges
- Einlaßventil-Öffnen (EÖ), um das innerhalb des Brennraumes (6) gebildete Kraftstoff-Abgas-Gemisch in einen Ansaugkanal (5) der Ansaugleinrichtung zu schieben,
- Zurücksaugen des Kraftstoff-Abgas-Gemischs

zusammen mit Frischgas während des Ansaugtaktes durch das geöffnete Einlaßventil (4) in den Brennraum (6),

– frühzeitiges Einlaßventil-Schließen (ES) bei gleichzeitiger Saugbewegung des Kolbens (2), um die Expansionskühlung des Kraftstoff-Abgas-Frischgas-Gemischs zu erzielen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenn eine obere Ladungswechsel-Totpunktlage (LW_{OT}) eines Kolbens (2) der Zylinder-Kolben-
einheit (1) durch einen Kurbelwinkel von 360 Grad definiert ist, der Verbrennungsprozeß durch folgende Steuerzeiten gekennzeichnet ist:

- a) Auslaßventil-Öffnen (AO) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 110 Grad und 140 Grad;
- b) Auslaßventil-Schließen (AS) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 Grad und 360 Grad;
- c) Einlaßventil-Öffnen (EO) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 270 und 360 Grad;
- d) Einlaßventil-Schließen (ES) in einem Kurbelwinkelbereich zwischen 460 und 560 Grad;
- e) Einspritzen von Kraftstoff zwischen dem Auslaßventil-Schließen (AS) und dem Einlaßventil-Schließen (ES).

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil des Abgases eines Spenderzylinders (32) der Brennkraftmaschine (12) rückgehalten oder rückgeführt wird, um in dieses Abgas Kraftstoff zur Erzeugung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs sowohl für den Spenderzylinder (32) als auch für die restlichen Zylinder (14) der Brennkraftmaschine (12) einzuspritzen, wobei das homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch vor einer Einspeisung in eine gemeinsame Ansaugeneinrichtung (18) des Spenderzylinders (32) und der restlichen Zylinder (14) vorzugsweise durch eine Kühleinrichtung (44) gekühlt wird, welche nach dem Verdichterkälteprozeß, dem Adsorptionskälteprozeß, dem Gaskälteprozeß, dem Dampfstrahlkälteprozeß, einem elektrothermischen Verfahren oder einer Kombination der genannten Prozesse arbeitet, und/oder nach der Einspeisung in diese Ansaugeneinrichtung (18) in den Zylindern (14) expansionsgekühlt wird (Miller-Verfahren).

11. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die selbstzündende Brennkraftmaschine (12) mit einer Abgasturboladeinrichtung (16) versehen ist und die Ansaugeneinrichtung (18) einen Verdichter (22) und vorzugsweise einen diesem nachgeordneten Ladeluftkühler (24) aufweist, wobei das homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch in die Ansaugeneinrichtung (18) wahlweise an einer oder mehreren Anschlußstellen eingespeist wird, von welchen eine Anschlußstelle (36) stromaufwärts des Verdichters (22), eine Anschlußstelle (38) zwischen dem Verdichter (22) und dem Ladeluftkühler (24) und eine weitere Anschlußstelle (40) zwischen dem Ladeluftkühler (24) und einem Ansaugkrümmer (26) der Brennkraftmaschine (12) angeordnet ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die durch den Verdichter (22) verdichtete und den Ladeluftkühler (24) abgekühlte Verbrennungsluft durch eine wahlweise einstufige oder zweistufige, dem Ladeluftkühler (24) nachgeordnete Expansions-turbine (46) weiter abgekühlt wird, wobei das homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch der Ansaugeneinrichtung (18) an einer zusätzlichen Anschlußstelle (48) zwischen dem Ladeluftkühler (24) und der Expansionsturbine (46) zuführbar ist.

13. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verdichtungstakt eine isentrope Verdichtung beinhaltet.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

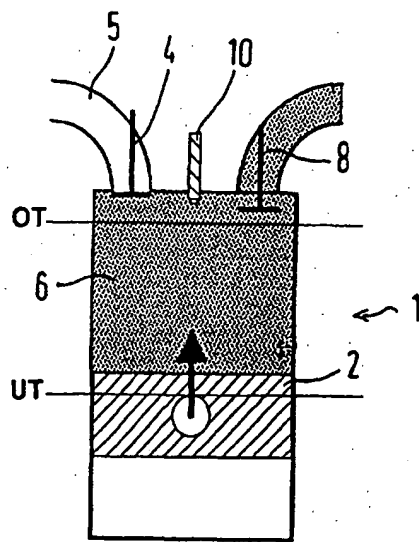


FIG. 1a

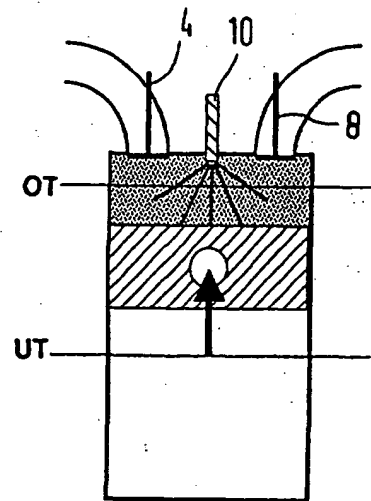


FIG. 1b

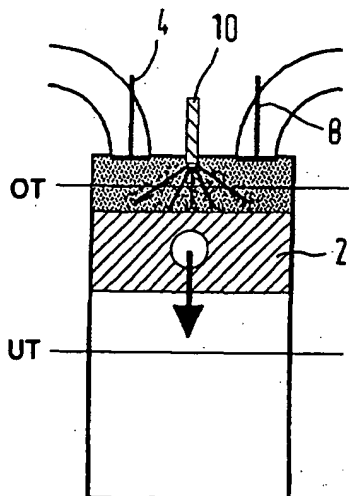


FIG. 1c

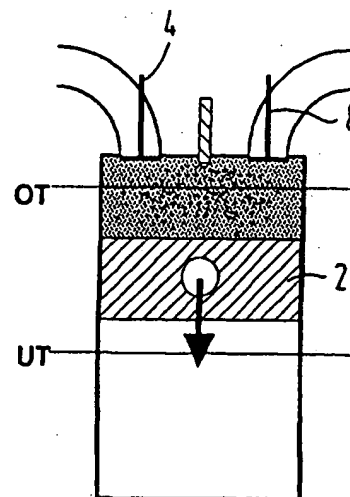


FIG. 1d

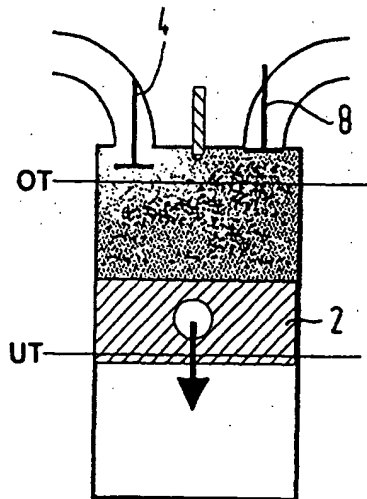


FIG.1e

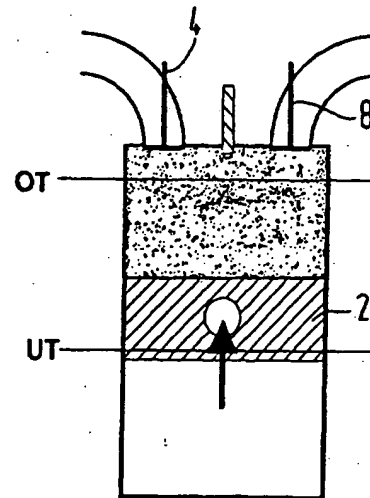


FIG.1f

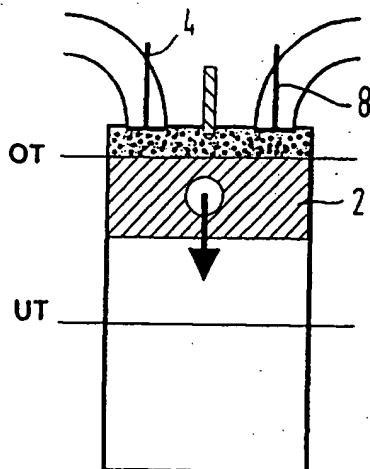
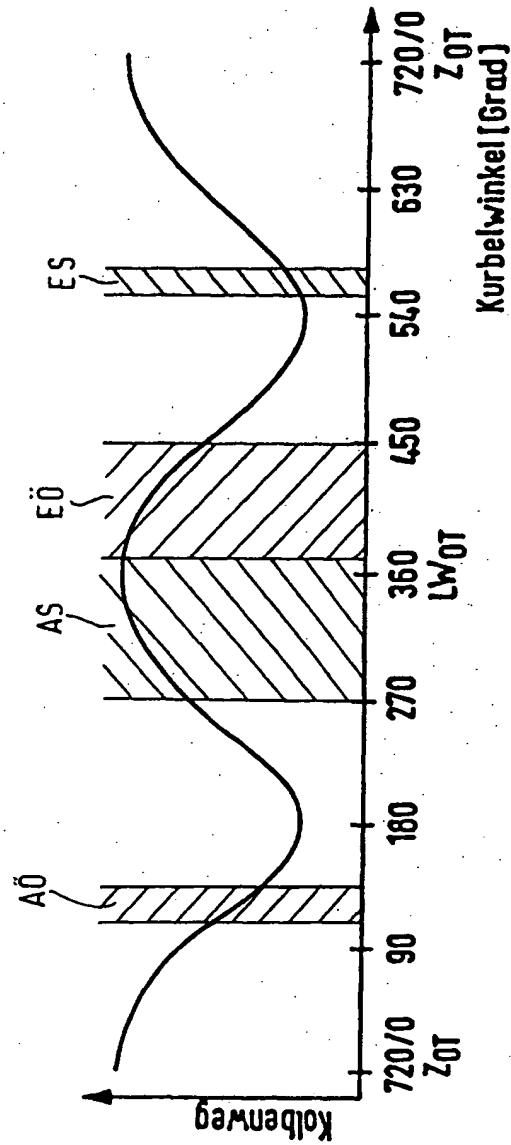


FIG.1g

FIG. 2



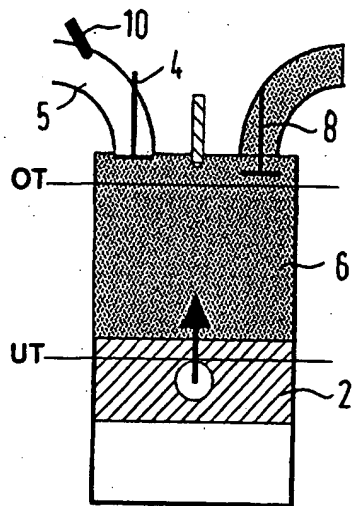


FIG. 3a

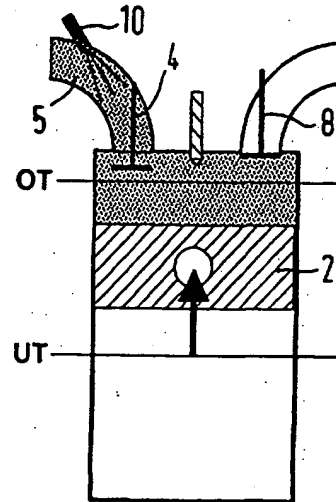


FIG. 3b

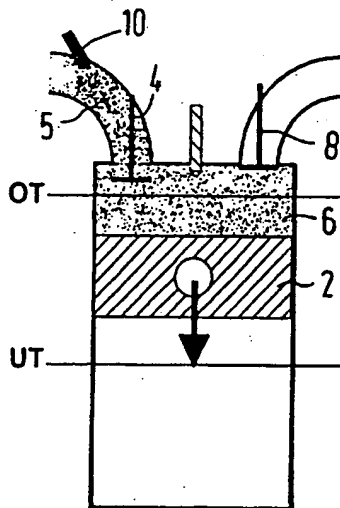


FIG. 3c

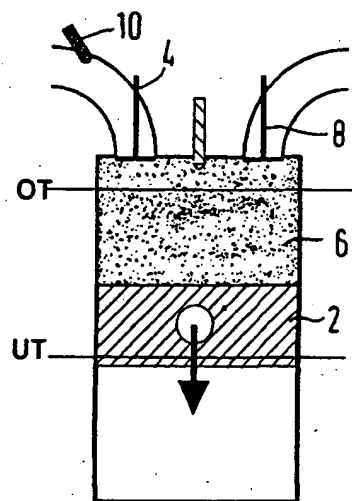


FIG. 3d

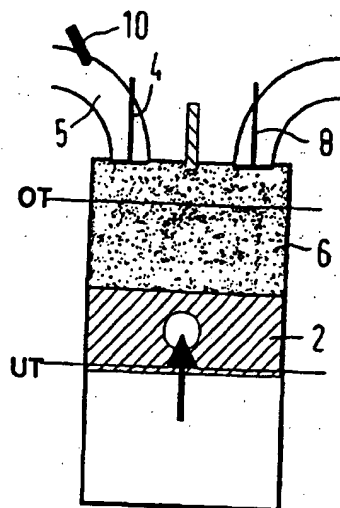


FIG.3e

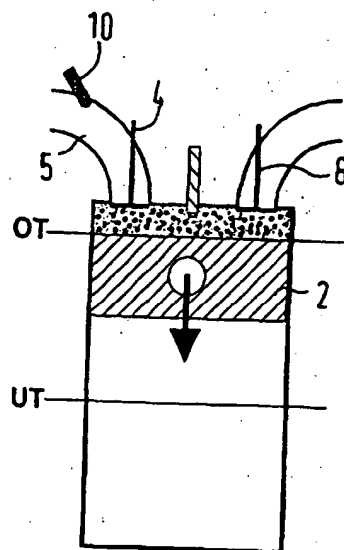


FIG.3f

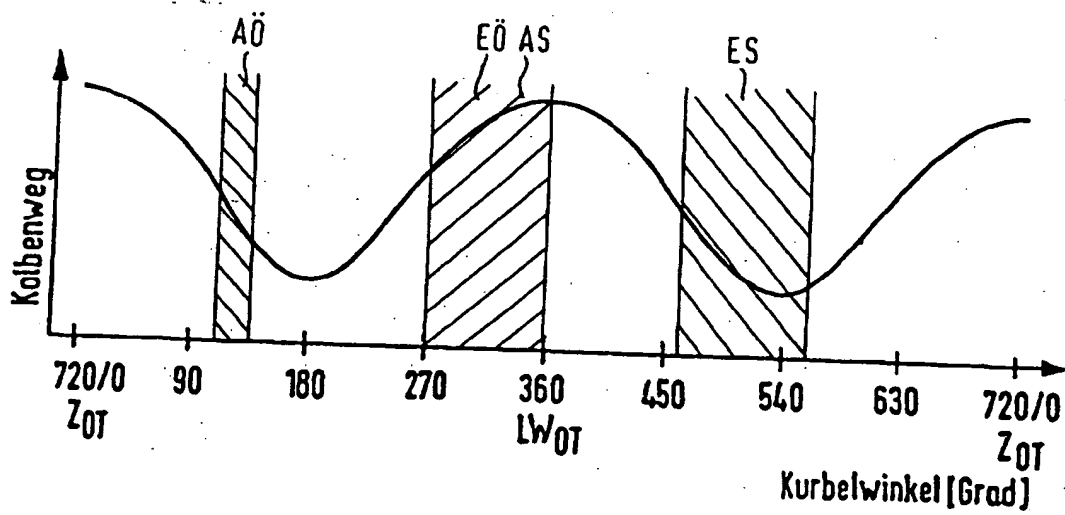


FIG.4

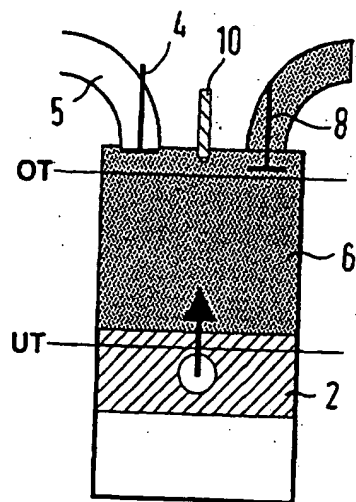


FIG. 5a

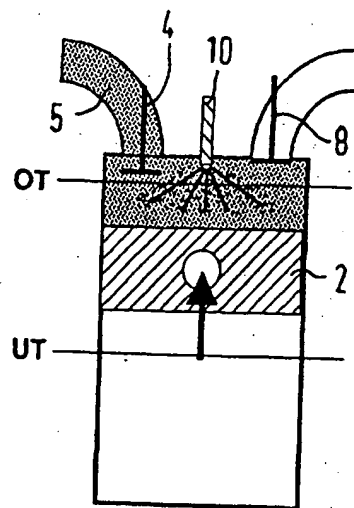


FIG. 5b

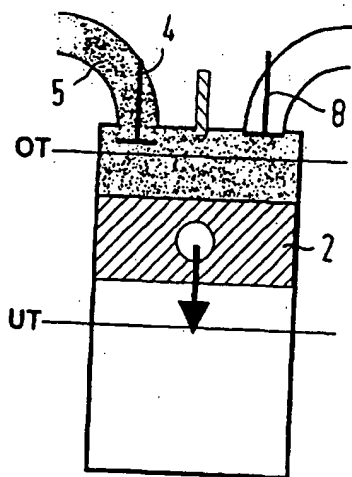


FIG. 5c

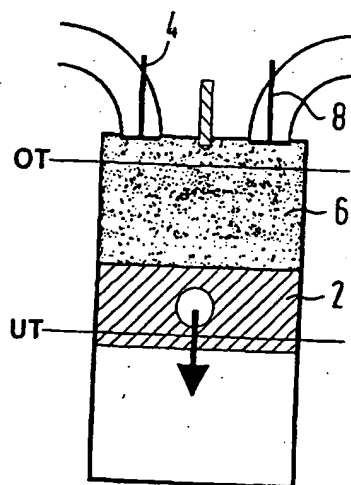


FIG. 5d

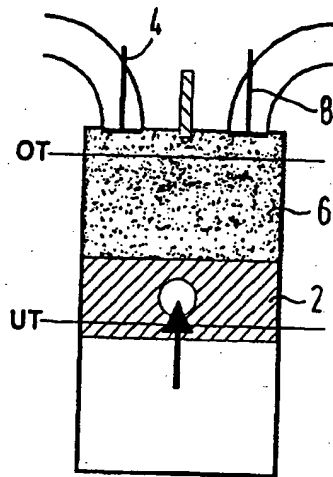


FIG. 5e

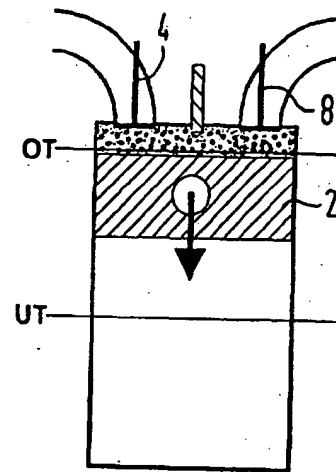


FIG. 5f

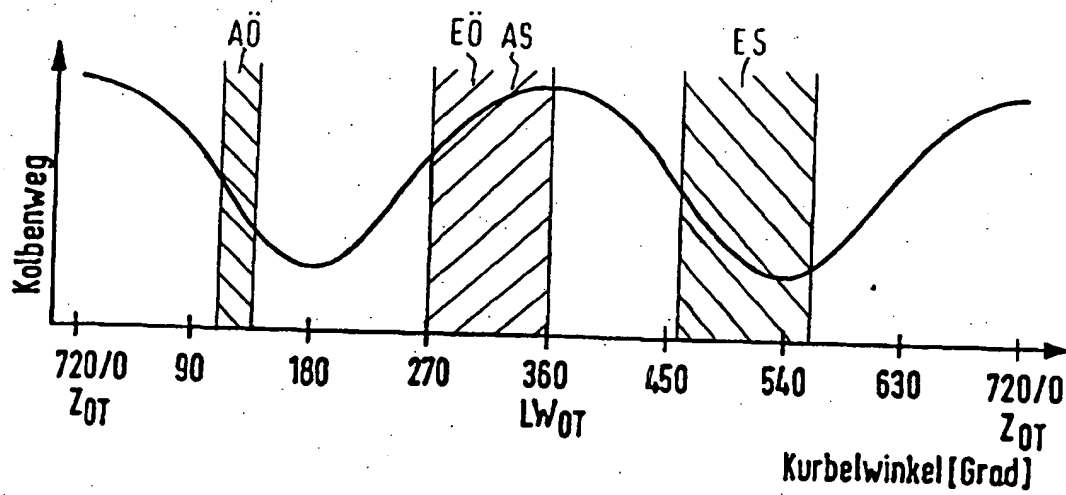


FIG. 6

